

7-26-4-

10/798,974

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 4 年    2 月 1 7 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 4 - 0 4 0 2 1 5  
Application Number:  
[ST. 10/C]:                      [J.P. 2 0 0 4 - 0 4 0 2 1 5]

出 願 人                      パイオニア株式会社  
applicant(s):                      独立行政法人物質・材料研究機構  
   株式会社オキサイド

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

BEST AVAILABLE COPY

2 0 0 4 年    3 月 1 5 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫

【書類名】 特許願  
【整理番号】 58P0831  
【提出日】 平成16年 2月17日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G02B 1/02  
G02B 5/32  
G03H 1/26

【発明者】  
【住所又は居所】 埼玉県鶴ヶ島市富士見 6 丁目 1 番 1 号 パイオニア株式会社 総合研究所内  
【氏名】 畑野 秀樹

【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県つくば市千現 1 丁目 2 番 1 号 独立行政法人物質・材料研究機構内  
【氏名】 劉 友文

【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県つくば市千現 1 丁目 2 番 1 号 独立行政法人物質・材料研究機構内  
【氏名】 北村 健二

【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県つくば市千現 1 丁目 2 番 1 号 独立行政法人物質・材料研究機構内  
【氏名】 竹川 俊二

【発明者】  
【住所又は居所】 茨城県つくば市千現 1 丁目 2 番 1 号 独立行政法人物質・材料研究機構内  
【氏名】 中村 優

【発明者】  
【住所又は居所】 山梨県北巨摩郡小淵沢町 9 6 3 3 株式会社オキサイド内  
【氏名】 古川 保典

【特許出願人】  
【識別番号】 000005016  
【氏名又は名称】 パイオニア株式会社

【特許出願人】  
【識別番号】 301023238  
【氏名又は名称】 独立行政法人物質・材料研究機構

【特許出願人】  
【識別番号】 503098724  
【氏名又は名称】 株式会社オキサイド

【代理人】  
【識別番号】 100079119  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 藤村 元彦

【先の出願に基づく優先権主張】  
【出願番号】 特願2003- 69897  
【出願日】 平成15年 3月14日

【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 016469  
【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】	特許請求の範囲	1
【物件名】	明細書	1
【物件名】	図面	1
【物件名】	要約書	1
【包括委任状番号】	9006557	
【包括委任状番号】	0310981	
【包括委任状番号】	0310982	

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

波長が異なる 2 つの光を照射することによって屈折率変化を発現する強誘電体材料であって、

前記強誘電体材料は  $\text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) = 0.4966 \sim 0.4995$  の組成を有するタンタル酸リチウム単結晶であることを特徴とする強誘電体材料。

**【請求項 2】**

前記強誘電体材料は  $\text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) = 0.4974 \sim 0.4989$  の組成を有するタンタル酸リチウム単結晶であることを特徴とする請求項 1 に記載の強誘電体材料。

**【請求項 3】**

前記タンタル酸リチウム単結晶に含有されるプロトン濃度は  $[\text{OH}]$  伸縮モードにおける赤外吸収係数が  $0 \text{ cm}^{-1} \sim 0.15 \text{ cm}^{-1}$  の範囲（但し、 $0 \text{ cm}^{-1}$  および  $0.15 \text{ cm}^{-1}$  を含む）となる濃度であることを特徴とする請求項 1 に記載の強誘電体材料。

**【請求項 4】**

波長が異なる 2 つの光を照射することによって屈折率変化を発現する強誘電体材料を用いた 2 色ホログラフィック記録媒体であって、

前記強誘電体材料は  $\text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) = 0.4966 \sim 0.4995$  の組成を有するタンタル酸リチウム単結晶であることを特徴とする 2 色ホログラフィック記録媒体。

**【請求項 5】**

前記強誘電体材料は  $\text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) = 0.4974 \sim 0.4989$  の組成を有するタンタル酸リチウム単結晶であることを特徴とする請求項 4 に記載の 2 色ホログラフィック記録媒体。

**【請求項 6】**

前記タンタル酸リチウム単結晶に含有されるプロトン濃度は  $[\text{OH}]$  伸縮モードにおける赤外吸収係数が  $0 \text{ cm}^{-1} \sim 0.15 \text{ cm}^{-1}$  の範囲（但し、 $0 \text{ cm}^{-1}$  および  $0.15 \text{ cm}^{-1}$  を含む）となる濃度であることを特徴とする請求項 4 に記載の 2 色ホログラフィック記録媒体。

**【請求項 7】**

波長が異なる 2 つの光を照射することによって屈折率変化を発現する強誘電体材料を用いた波長選択フィルタであって、

前記強誘電体材料は  $\text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) = 0.4966 \sim 0.4995$  の組成を有するタンタル酸リチウム単結晶であり、

前記強誘電体材料は少なくとも 1 つの屈折率格子を有することを特徴とする波長選択フィルタ。

**【請求項 8】**

前記強誘電体材料は 2 以上の屈折率格子を含み、

前記 2 以上の屈折率格子は各々異なる格子間ピッチを有する、ことを特徴とする請求項 7 に記載の波長選択フィルタ。

**【請求項 9】**

前記強誘電体材料は  $\text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) = 0.4974 \sim 0.4989$  の組成を有するタンタル酸リチウム単結晶であることを特徴とする請求項 7 に記載の波長選択フィルタ。

**【請求項 10】**

前記タンタル酸リチウム単結晶に含有されるプロトン濃度は  $[\text{OH}]$  伸縮モードにおける赤外吸収係数が  $0 \text{ cm}^{-1} \sim 0.15 \text{ cm}^{-1}$  の範囲（但し、 $0 \text{ cm}^{-1}$  および  $0.15 \text{ cm}^{-1}$  を含む）となる濃度であることを特徴とする請求項 7 に記載の波長選択フィルタ。

## 【書類名】明細書

【発明の名称】強誘電体材料、2色ホログラフィック記録媒体および波長選択フィルタ

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、2つの光を照射することによって屈折率変化を発現する強誘電体材料に関する。より詳細には、本発明は、一致熔融組成のタンタル酸リチウムよりもLi過剰であり、かつ、化学量論組成のタンタル酸リチウムよりもLi欠損であるタンタル酸リチウム単結晶からなる強誘電体材料、これを用いた2色ホログラフィック記録媒体および波長選択フィルタに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

タンタル酸リチウム ( $\text{LiTaO}_3$ 、以降ではLTと称する) およびニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ 、以降ではLNと称する) 等の強誘電体単結晶は、フォトリフラクティブ効果を呈する材料として知られている。フォトリフラクティブ効果とは、不純物や欠陥に起因する深いトラップ準位を有する電気光学物質に光を照射することによって生じる現象である。詳細には、トラップ準位の電荷が光イオン化されて自由キャリア (電子またはホール) となり、該自由キャリアが電気光学物質内を移動する。その後、該自由キャリアは再結合し、光の強度分布に対応した空間電荷分布が生じる。これが、電気光学効果 (すなわち、ポッケルス効果) により屈折率変化を引き起こす。

## 【0003】

このようなフォトリフラクティブ効果を積極的に利用したものとして、例えば、ホログラフィの原理を応用したデジタル記録再生システム (いわゆる、ホログラフィックメモリシステム) が知られている。

## 【0004】

ホログラフィックメモリシステムは、レーザ光を用いて体積ホログラムの形式で3次元的に情報を多重記録する光学メモリ方式である。具体的には、ホログラフィックメモリシステムは、2次元の平面ページ単位でデータを記録、および/または、再生することができる。また、ホログラフィックメモリシステムは、複数の2次元の平面ページを利用することにより多重記録し得る (すなわち、記録媒体内にデータを3次元的に記録することができる)。このようなホログラフィックメモリシステムに使用される記録媒体は、上述の強誘電体単結晶を直方体などの3次元形状に加工することによって得られる。

## 【0005】

このようなホログラフィックメモリシステムに使用される記録形態には、単色ホログラム (1-color) 方式がある。単色ホログラム方式は、1つの波長のコヒーレント光の干渉によって記録および/または再生を行う方式である (例えば、特許文献1を参照)。ところが、単色ホログラム方式は、記録された情報 (ホログラム) を読み出す際に、再生光が徐々にホログラムを消去してしまう問題 (再生劣化) を有することから、単色ホログラム方式の問題を解決した2色ホログラム方式 (2-color) も研究されている。2色ホログラム方式は、記録時に記録光に加えて該記録光とは波長の異なるゲート光を同時に照射することによって情報を記録する方式である。

## 【0006】

次に、2色ホログラム方式におけるホログラム記録媒体に情報を記録する原理の一例を説明する。

## 【0007】

図11は、2色ホログラム方式の原理を説明する模式図である。

## 【0008】

2色ホログラム方式に用いられるホログラム記録媒体のエネルギーバンド構造1100は、価電子帯 (VB) と伝導帯 (CB) との間に、3つのエネルギー準位A、BおよびCを有する。エネルギー準位A (光吸収中心またはバイポーラロン) は、エネルギー準位B (中間励起準位、準安定準位またはスモールポーラロン) よりも深い位置にある。エネルギー

ギー準位 C (トラップ準位またはストレージセンタ) は、エネルギー準位 B よりも深い位置にある。

【0009】

フォトリフラクティブ効果に關与するキャリアを生成するゲート光 (波長  $\lambda_1$ ) をホログラム記録媒体に照射する。ゲート光が照射された部分で、エネルギー準位 A に存在する電子が伝導帯 (CB) へ励起され、エネルギー準位 B に一時的にトラップされる。これにより、フォトリフラクティブ効果に關与するキャリアが生成される。本明細書では、前記のエネルギー準位 A のような役割を果たすものをゲート源と称し、ゲート源の空間的濃度をゲート源濃度と称する。

【0010】

情報をホログラム記録媒体に記録するための記録光をホログラム記録媒体に照射する。記録光は、例えば情報を記録すべき位置を示す参照光 (波長  $\lambda_2$ ) と、情報を伝播する信号光 (波長  $\lambda_2$ ) とを含む。波長  $\lambda_1$  と波長  $\lambda_2$  との関係は、 $\lambda_1 < \lambda_2$  を満たす。記録光を照射することによって、エネルギー準位 B にトラップされていたキャリアは、記録光が形成する干渉縞に対応した空間的な明暗のパターンにしたがって伝導帯 (CB) に励起され、最終的に、エネルギー準位 C に干渉縞に対応した電荷の濃淡分布の様態で蓄積される。このようにして記録が完了する。

【0011】

上述の 2 色ホログラム方式に採用されるホログラム記録媒体の材料として、還元処理を施した LN が提案されている。2 色ホログラム用記録媒体として、還元処理を施した不純物を含むしない LN 単結晶、または、還元処理を施した Fe (鉄) を添加した LN 単結晶 (例えば、非特許文献 1 を参照。) がある。このような単結晶を用いた場合、記録時にミリ秒から数秒のオーダの寿命を有する中間励起準位 (準安定準位) が形成され、小さなパワーの連続発振レーザを用いた記録が達成されている。

【0012】

他の 2 色ホログラム用記録媒体としては、Fe を添加し、かつ、還元処理を施した一致溶融組成の LT 結晶 (例えば、非特許文献 2 を参照。) がある。

【特許文献 1】特開平 11-35393 公報

【非特許文献 1】L. Hesselink, S. S. Orlov, A. Liu, A. Akella, D. Lande, and R. R. Neurgaonkar, 「Photorefractive Materials for Nonvolatile Volume Holographic Data Storage」, Science Vol. 282 (Nov 6), p. 1089-1094 (1998)

【非特許文献 2】J. Imbrock, D. Kip, and E. Kretzig, 「Nonvolatile holographic storage in iron-doped lithium tantalate with continuous-wave laser light」, Optics Letters, Vol. 24, No. 18, p. 1302-1304 (1999)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

しかしながら、非特許文献 1 および非特許文献 2 に記載される記録媒体は、還元処理を行うことが必須である。これは、as-grown の状態または熱処理された状態では、記録感度が低いことため記録媒体として使用することができないためである。一方で、この還元処理は、材料の暗導電率を増加させ、記録媒体におけるストレージ時間を短くする場合があり得る。更に、還元処理の程度 (温度、雰囲気および時間等) によって、得られる材料の特性が著しく変化するため、記録感度の制御が困難である。

【0014】

また、非特許文献2に記載される記録媒体は、中間励起準位の寿命が短く（数ミリ秒）、中間励起準位における電子の濃度が低い。したがって、この記録媒体は、還元処理を施したとしても、十分な記録感度を有するに至っていない。

#### 【0015】

さらに、非特許文献1および非特許文献2に記載される記録媒体は、不純物が添加されているため、短波長側に不純物（Fe）による不要な吸収バンドを有する。このため、ゲート光の透過率が低くなるので、厚い結晶を使用することができず、大容量を達成することが困難である。

#### 【0016】

したがって、本発明の目的は、還元処理を施すことなく、かつ、不純物を添加することなく、波長が異なる2つの光を照射することによって屈折率変化を発現する強誘電体材料を提供することである。

#### 【0017】

本発明のさらなる目的は、上記強誘電体材料を用いた2色ホログラム記録媒体を提供することである。

#### 【0018】

本発明のさらに別の目的は、上記強誘電体材料を用いたフィルタを提供することである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0019】

本発明は、波長が異なる2つの光を照射することによって屈折率変化を発現する強誘電体材料であって、前記強誘電体材料は、 $\text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) = 0.4966 \sim 0.4995$ の組成を有するタンタル酸リチウム単結晶であることを特徴とする強誘電体材料を提供する。

#### 【0020】

また本発明は、波長が異なる2つの光を照射することによって屈折率変化を発現する強誘電体材料を用いた2色ホログラフィック記録媒体であって、前記強誘電体材料は、 $\text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) = 0.4966 \sim 0.4995$ の組成を有するタンタル酸リチウム単結晶であることを特徴とする2色ホログラフィック記録媒体を提供する。

#### 【0021】

また本発明は、波長が異なる2つの光を照射することによって屈折率変化を発現する強誘電体材料を用いた波長選択フィルタであって、前記強誘電体材料は $\text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) = 0.4966 \sim 0.4995$ の組成を有するタンタル酸リチウム単結晶であり、前記強誘電体材料は少なくとも1つの屈折率格子を有することを特徴とする波長選択フィルタを提供する。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0022】

以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明する。本発明では、強誘電体材料としてタンタル酸リチウム単結晶を用いる。

#### （実施の形態1）

図1は、 $\text{Li}_2\text{O}-\text{Ta}_2\text{O}_5$ 擬2成分系相図の概要を示す。

#### 【0023】

図からわかるように、LTにおいて一致溶解組成と化学量論組成（定比組成とも呼ばれる）とは異なる。高温におけるLTの不定比固溶領域は、Ta成分過剰側に伸びており、一致溶解組成はTa成分過剰である。本発明では、一致溶解組成よりもリチウム（Li）過剰であり、かつ、化学量論組成よりもLi欠損である範囲におけるLT単結晶（本明細書では、このような組成範囲を近化学量論組成（near-stoichiometric composition）と称し、このような組成範囲を有するLT単結晶をNSLT単結晶と呼ぶ。）を作製し、波長が異なる2つの光を照射した際に屈折率変化を発現するLT単結晶を提供する。詳細には、2色ホログラム用途に好適な組成を有するLT単結

品を提供する。

【0024】

次に、NSLT単結晶の製造方法を説明する。NSLT単結晶は、例えば、チョクラルスキー法を使用することによって製造され得る。工程ごとに説明する。

【0025】

工程S100:  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  粉末および  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  粉末を秤量し、混合する。これら原料粉末は、市販の高純度（例えば、99.99%）の粉末であり得る。 $\text{Li}_2\text{CO}_3$  粉末および  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  粉末は、Li成分が過剰となるように調整される。例えば、 $\text{Li}_2\text{CO}_3$ :  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  のモル比は、0.57:0.43である。

【0026】

工程S110: 工程S100の混合粉末を1000℃で24時間焼結する。焼結体を  $1\text{ t}/\text{cm}^2$  の圧力を加え、成形し、融液用原料を得る。このようにして得られた融液用原料をイリジウムるつぼに充填する。

【0027】

工程S120: イリジウムるつぼを1580℃まで加熱する。これにより、融液用原料は溶融し、LT結晶原料の融液となる。

【0028】

工程S130: 工程S120で得られた融液にLT種結晶を浸し、育成する。育成条件は、例えば、育成速度  $0.5\text{ mm}/\text{h}$ 、結晶回転数  $5\text{ rpm}$  である。育成雰囲気は、例えば、窒素:酸素比が99.95:0.05である混合ガス（中性雰囲気）である。

【0029】

工程S100～工程S130によってNSLT単結晶が得られる。次いで、得られたNSLT単結晶の後処理を説明する。

【0030】

工程S140: 得られたNSLT単結晶を1350℃、大気中、24時間アニールする。これによりNSLT単結晶の歪みが解消する。

【0031】

工程S150: 単分域化処理を行う。単分域化は、例えば、約730℃で円柱状のNSLT単結晶の長手方向の柱軸に平行な方向に約  $0.5\text{ mA}/\text{cm}^2$  の電流を流しながら冷却するフィールドクーリング法を用い得る。

【0032】

このようにして単分域化されたNSLT単結晶は、669℃のキュリー温度を有し、 $\text{Li}_2\text{O}/(\text{Li}_2\text{O}+\text{Ta}_2\text{O}_5)=0.4975$ であった。

【0033】

上述のチョクラルスキー法による育成方法は、工程S130において融液の組成と融液から成長する結晶組成とが異なると、結晶化が進むにしたがい、融液組成と結晶組成との間の組成差が大きくなる。この結果、組成が均一で大きなNSLT単結晶を得ることはできない。したがって、結晶化した量と同じ量、かつ、同じ組成の原料を融液に供給し得る連続原料供給型二重るつぼ法を用いた単結晶引き上げ装置を使用してもよい。このような単結晶引き上げ装置は、二重構造のるつぼを含む。内側るつぼの底に、外側るつぼに連通する穴が設けられている。連続原料供給型二重るつぼ法を用いた場合のNSLT単結晶の製造方法を工程ごとに説明する。

【0034】

工程S200: Li成分が過剰に含まれている原料を内側るつぼと外側るつぼに充填する。このような原料の作製は、上述の工程S100および工程S110と同様の手順で行われる。

【0035】

工程S210: 二重るつぼを加熱し、NSLT単結晶用の融液を作製する。

【0036】

工程S220: 工程S210で得られた融液にLT種結晶を浸し、育成する。LT種結



晶を所定の育成条件で回転させながら、引き上げる。育成中、内側るつばの融液から育成された結晶の重量が連続的に測定される。近化学量論組成に調整された原料が、育成された結晶の重量と同じ量だけ外側るつばに自動的に供給される。外側るつばの原料が、内側るつばに設けられた穴を介して、外側るつばから内側るつばへと流れ込むので融液の組成を一定に保つことができる。この結果、組成が均一で大きな NSLT 単結晶を得ることができる。

#### 【0037】

引き上げられる NSLT 単結晶の組成は、融液用原料のモル比と、育成温度で制御される。

#### 【0038】

得られた NSLT 単結晶の後処理は、上述の工程 S140 および工程 S150 と同様であるため省略する。NSLT 単結晶を製造する上述の方法は、一例にすぎないことを理解されたい。

#### 【0039】

上述の方法で得られた種々の近化学量論組成を有する NSLT 単結晶を、結晶の Y 軸を法線として Z-X 軸を含む Y カット面を主面とする直方体（いわゆる Y カット板）に切り出した。このようにして得られた種々の組成を有する結晶片（被測定結晶）の光学特性を評価し、2 色ホログラム用途に好適な NSLT 単結晶の組成を見出した。なお、Y カット板の（Y 軸方向の）厚さは 2 mm である。

#### 【0040】

図 2 は、光学特性の測定系 200 の模式図である。

#### 【0041】

測定系 200 は、ゲート光を発する第 1 の光源 201 と、記録光を発する第 2 の光源 202 と、記録光を参照光と信号光とに分離するビームスプリッタ 203 と、信号光を受光する光検出器 204 と、ゲート光、参照光および信号光それぞれが被測定結晶 207 に入射するのを遮断するシャッター S1、S2 および S3 とを含む。測定系 200 は、記録光をビームスプリッタ 203 に入射するためのミラー 205 を含む。ミラー 205 は、記録光が直接ビームスプリッタ 203 に入射する場合には、省略してもよい。測定系 200 はまた、ゲート光、参照光および信号光のそれぞれを被測定結晶 207 に入射するために、ミラー 206a、206b および 206c を含む。ミラー 206a、206b および 206c は、ゲート光、参照光および信号光が被測定結晶 207 の任意の一点で交差するように、ゲート光、参照光および信号光それぞれの入射角度を調整し得る。ミラー 206a、206b および 206c は、ゲート光、参照光および信号光のそれぞれを被測定結晶 207 に入射させ、任意の一点で交差する限り任意の光学系を用いることができる。

#### 【0042】

被測定結晶 207 は、Y カット面にゲート光、参照光および信号光が入射するように配置される。参照光および信号光の偏光は、被測定結晶 207 の Z 軸に対して光の電界ベクトルが平行となる状態（異常光）である。

#### 【0043】

測定系 200 を用いて、屈折率変化および感度を測定する方法について説明する。第 1 の光源 201 および第 2 の光源 202 から同時にゲート光（ $350\text{ nm}$ 、 $0.16\text{ W/cm}^2$ ）および記録光（ $778\text{ nm}$ 、信号光  $4.7\text{ W/cm}^2$ 、参照光  $4.1\text{ W/cm}^2$ ）を出射する。この際、シャッター S1～S3 は、開状態である。途中、信号光を遮断するシャッター S3 を一定時間間隔で閉じる。この間に、光検出器 204 は、被測定結晶 207 に形成されたホログラムによって回折された参照光の回折光を受光する。これにより、参照光と回折光との強度比  $\eta$ （回折効率）が測定される。次式（1）を用いて、屈折率変化  $\Delta n$  を算出する。

## 【数1】

$$\eta = T_{\text{crystal}} \sin^2 (\pi \Delta n d / \lambda \cos \theta) \quad (1)$$

ここで、 $T_{\text{crystal}}$ は被測定結晶207の透過率、 $d$ は被測定結晶207の厚さ、 $\lambda$ は真空中の光の波長、 $\theta$ は参照光と信号光とが交差する角度の $1/2$ である。強度比 $\eta$ が飽和するまで測定を続ける。

## 【0044】

次いで、次式(2)を用いて、感度 $S$ を算出する。

## 【0045】

## 【数2】

$$S = \left. \frac{\partial \sqrt{\eta}}{\partial t} \right|_{t=0} / (I_w d) \quad (2)$$

ここで $I_w$ は記録光強度である。

## 【0046】

次に、図2の測定系200を用いた測定結果について説明する。

## 【0047】

図3は、本発明によるNSLT単結晶からなる強誘電体材料の屈折率変化(A)および感度(B)のキュリー温度依存性を示す図である。

## 【0048】

図3(A)は、キュリー温度 $T_c$ (組成)の異なるNSLT単結晶について、強度比 $\eta$ の飽和値を用いて、上式(1)から飽和屈折率変化 $\Delta n$ を算出した結果を示す。2色ホログラムに用いるに必要な飽和屈折率変化 $\Delta n$ 値は、 $0.4 \times 10^{-4}$ より大きいことが知られている。図3(A)より、化学量論組成を有するLT単結晶( $T_c = 693^\circ\text{C}$ 、以下SLT単結晶と称する)および一致熔融組成を有するLT単結晶( $T_c = 608^\circ\text{C}$ 、以下CLT単結晶と称する)の飽和屈折率変化は、2色ホログラムに用いるには小さすぎる事が分かる。図3(A)の曲線から、関係 $\Delta n > 0.4 \times 10^{-4}$ を満たすキュリー温度範囲は、 $665^\circ\text{C}$ 以上 $690^\circ\text{C}$ 以下であることが分かった。

## 【0049】

図3(B)は、キュリー温度 $T_c$ (組成)の異なるNSLT単結晶について、強度比 $\eta$ の飽和値を用いて、上式(2)から感度 $S$ を算出した結果を示す。2色ホログラムに用いるに必要な感度 $S$ 値は、 $0.02 \text{ cm/J}$ より大きいことが知られている。図3(B)より、SLT単結晶の感度( $0.01 \text{ cm/J}$ )およびCLT単結晶の感度( $0.003 \text{ cm/J}$ )は、2色ホログラムに用いるには小さすぎる事がわかる。図3(B)の曲線から、関係 $S > 0.02 \text{ cm/J}$ を満たすキュリー温度範囲は、 $670^\circ\text{C}$ 以上 $690.5^\circ\text{C}$ 以下であることが分かった。

## 【0050】

図3(A)および(B)から、関係 $\Delta n > 0.4 \times 10^{-4}$ および関係 $S > 0.02 \text{ cm/J}$ の両方を満たすキュリー温度範囲は、 $670^\circ\text{C}$ 以上 $690^\circ\text{C}$ 以下であることが分かった。

## 【0051】

図4は、LT単結晶のキュリー温度と組成との関係を示す図である。

## 【0052】

本明細書において、NSLT単結晶の組成は、図4に示されるグラフを用いて求めた。

図3より得られたキュリー温度に相当する組成は、 $0.4966 \leq \text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) \leq 0.4995$ である。この組成を満たすNSLT単結晶を2色ホログラムに用いることができる。最も好ましくは、キュリー温度 $T_c = 680 \pm 5^\circ\text{C}$  ( $0.4974 \leq \text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) \leq 0.4989$ )を満たすNSLT単結晶である。キュリー温度 $T_c = 680^\circ\text{C}$ を有するNSLT単結晶(厚さ2mm)は、 $0.7 \times 10^{-4}$ の飽和屈折率変化を有し、約15.3%の回折効率が得られている。この値は、Feが添加されたCLT単結晶の飽和屈折率変化( $0.1 \times 10^{-4}$ )に比べて7倍大きい。

#### 【0053】

また、本発明による上述の組成範囲を有するNSLT単結晶からなる強誘電体材料には、Fe等の不純物が添加されていないため、ゲート光の波長領域に不要な吸収バンドが形成されない。したがって、2mm以上の厚いNSLT単結晶においても、図3(B)に示されるような $0.02 \text{ cm/J}$ 以上の高い感度(図示せず)が得られることを確認した。

#### 【0054】

再度図2を参照して、NSLT単結晶からなる強誘電体材料の記録-再生-消去ステップにおける屈折率変化の測定方法について説明する。記録ステップの間(以下、期間(a)と称する)、第1の光源201および第2の光源202から同時にゲート光( $313 \text{ nm}$ 、 $0.2 \text{ W/cm}^2$ )および記録光( $722 \text{ nm}$ 、 $10 \text{ W/cm}^2$ )を出射する。この際、シャッターS1~S3は、開状態である。途中、信号光を遮断するシャッターS3を一定時間間隔で閉じる。この間に、光検出器204は、被測定結晶207に形成されたホログラムによって回折された参照光の回折光を受光する。これにより、参照光と回折光との強度比 $\eta$ (回折効率)が測定される。このようにして期間(a)において、NSLT単結晶からなる強誘電体材料にホログラムが形成される(データが記録される)。

#### 【0055】

再生ステップの間(以下、期間(b)と称する)、シャッターS1およびS3を閉じ、参照光のみを被測定結晶207に照射する。つまり、被測定結晶207には、記録時の約1/2の強度の記録光が照射される。この間に、光検出器204は、参照光による回折光を受光し、参照光と回折光との強度比 $\eta$ が測定される。このようにして、期間(b)において、記録されたデータが再生される。

#### 【0056】

消去ステップの間(以下、期間(c)と称する)、再度シャッターS1を開き、参照光とゲート光とを被測定結晶207に照射する。この間に、光検出器204は、参照光による回折光を受光する。これにより、参照光と回折光との強度比 $\eta$ が測定される。このようにして期間(c)において、記録されたデータが消去される。上式(1)を用いて、得られた各期間(a)~(c)における強度比 $\eta$ から屈折率変化 $\Delta n$ を求め、 $\Delta n$ と測定時間 $t$ との関係をプロットして、図5に示す如き屈折率変化を示すグラフが得られる。なお図5は、図3において最も好ましいキュリー温度 $T_c = 680 \pm 5^\circ\text{C}$ を有するNSLT単結晶の結果を示している。

#### 【0057】

図5から、期間(a)において、約 $0.6 \times 10^{-4}$ の屈折率変化が短時間で得られた。このことは、記録が短時間で完了することを示す。なお、飽和屈折率変化の値が、図3(A)の $T_c = 680^\circ\text{C}$ を有するNSLT単結晶の値と異なるのは、被測定結晶207に入射する光強度が異なっているためである。

#### 【0058】

期間(b)において、記録時の記録光強度の約1/2の強度に相当する参照光でデータを再生しても、顕著な信号の劣化は見られない。したがって、本発明によるNSLT単結晶からなる強誘電体材料(但し、 $0.4966 \leq \text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) \leq 0.4995$ )において、記録されたデータの保存特性(再生不揮発性)が良好であることがわかった。

#### 【0059】

さらに、ゲート比を用いて、本発明による強誘電体材料の再生不揮発性を定量的に評価

した。ここで、ゲート比とは、ゲート光を照射した場合の記録過程（図5の期間（a））における感度と、ゲート光を照射しない場合の記録過程における感度との比である。キュリー温度  $T_c = 680 \pm 5^\circ\text{C}$  を有する NSLT 単結晶の場合、ゲート光を照射しない場合の記録感度は、きわめて小さく、ゲート比は約 5000 であった。この値は、本発明による強誘電体材料が非常に高い再生不揮発性を有していることを表している。

#### 【0060】

図5では、最も好ましい組成を有する NSLT 単結晶についてのみ再生不揮発性の評価を示したが、 $0.4966 \leq \text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) \leq 0.4995$  を満たす NSLT 単結晶であれば、図5とほぼ同様の結果が得られることを理解されたい。

#### 【0061】

以上、図3および図5より、発明者らは、2色ホログラム方式による記録において、NSLT 単結晶が SLT 単結晶および CLT 単結晶に比べて高い記録感度および高い屈折率変化を有することを知見し、かかる記録に好ましい組成範囲を見出したのである。次に、このような原因について説明する。

#### 【0062】

高い記録感度および高い屈折率変化は、NSLT 単結晶内に形成された真性欠陥に起因すると考えられる。上記組成範囲の NSLT 単結晶は Li 欠損である（すなわち、厳密には化学量論組成ではない）ため、アンチサイト欠陥 ( $\text{TaLi}^{5+}$ : 欠損した Li 格子位置に Ta 原子が置換した状態)、および、複合欠陥 ( $\text{TaLi}^{5+}\text{TaTa}^{5+}$ :  $\text{TaLi}^{5+}$  とそれに隣接する Ta 格子位置の Ta 原子) などの真性点欠陥が、NSLT 単結晶内に形成される。

#### 【0063】

このような複合欠陥 ( $\text{TaLi}^{5+}\text{TaTa}^{5+}$ ) が互いに逆スピンの電子を2個捕捉することによって、バイポーラロン ( $\text{TaLi}^{4+}\text{TaTa}^{4+}$ ) が形成される。バイポーラロンを乖離させるに必要なエネルギーを有する光（ゲート光）を NSLT 単結晶に照射することによって、電子がバイポーラロンから乖離され、伝導帯（図11のCB）に励起される。励起された電子は、アンチサイト欠陥に捕捉され、スモールポーラロン ( $\text{TaLi}^{4+}$ ) が形成される。

#### 【0064】

したがって、図11を参照すると、本発明による上述の組成範囲を有する NSLT 単結晶においては、バイポーラロンがゲート源となる深いトラップ準位（エネルギー準位A）を形成し、スモールポーラロン（SP）が中間励起準位（エネルギー準位B）を形成していると想定される。このような想定に基づけば、ゲート源濃度は、アンチサイト欠陥が増加するほど高くなる。このことは、化学量論組成に近い NSLT 単結晶ほどゲート源濃度は低く、一致溶融組成に近い NSLT 単結晶ほどゲート源濃度は高いことを意味する。

#### 【0065】

一方、トラップ寿命（中間励起準位における寿命）は、欠陥が増加するほど短くなる。このことは、化学量論組成に近い NSLT 単結晶ほどトラップ寿命は長く、一致溶融組成に近い NSLT 単結晶ほどトラップ寿命は短いことを意味する。これは、欠陥が増大すると深い再結合中心が形成されるので、SP 準位の電子の再結合速度が速くなるためである。

#### 【0066】

以上のゲート源濃度およびトラップ寿命の考察より、NSLT 単結晶における屈折率変化を利用する場合（特に2色ホログラムに用いる場合）、NSLT 単結晶に好ましい組成範囲が存在することが示唆される。図3および図5の実験結果から、このような好ましい組成範囲は、 $0.4966 \leq \text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) \leq 0.4995$  ( $670^\circ\text{C} \leq T_c \leq 690^\circ\text{C}$ ) であり、最も好ましい組成範囲は、 $0.4974 \leq \text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) \leq 0.4989$  ( $T_c = 680 \pm 5^\circ\text{C}$ ) であることが分かる。

#### 【0067】

再度図2を参照して、減衰時定数および（データ）保存寿命の測定方法を説明する。ここでは、「加速寿命試験」を用いる。この「加速寿命試験」を用いることにより測定時間

を短縮することができる。図2の測定系200に被測定結晶207を加熱するためのヒータ（図示せず）、および、参照光の光路に光強度を制御するためのフィルタ（図示せず）を設ける。ヒータにより、データが記録された被測定結晶207を室温より高い所定の温度に加熱し、保持する。次いで、シャッターS1およびS3を閉じ、第2の光源202からの参照光のみを被測定結晶207に入射させる。参照光の光強度は、フィルタによって減少されている。一定時間（例えば、30s）の間、参照光と回折光との強度比 $\eta$ （回折効率）を測定する。測定結果から所定温度における減衰時定数（寿命）が得られる。次いで、被測定結晶207を冷却し、データを記録した後、再度異なる温度にて同様の測定を繰り返す。

【0068】

このようにして得られた各温度における減衰時定数に次式（3）を適用する。

【数3】

$$t_d(T) = t_{d0} \exp(E_a / k_B T) \quad (3)$$

ここで、 $E_a$ は活性化エネルギー、 $k_B$ はボルツマン定数、 $T$ は絶対温度である。

【0069】

図6は、減衰時定数の温度依存性（A）および室温における保存寿命のプロトン濃度依存性（B）を示す図である。

【0070】

図6（A）は、本発明による  $0.4966 \leq Li_2O / (Li_2O + Ta_2O_5) \leq 0.4995$  ( $670^\circ C \leq T_c \leq 690^\circ C$ ) の組成を有し、かつ、プロトン濃度の異なる NSLT 単結晶、および、化学量論組成を有し、かつ、所定のプロトン濃度を有する LN 単結晶の減衰時定数の温度依存性（アレニウスプロット）、および、上式（3）を用いたフィッティングの結果を示す。

【0071】

単結晶中のプロトン濃度は、赤外吸収分光装置を用いた [OH] 伸縮モードの赤外吸収係数 ( $\alpha_{[OH]}$ ) に基づいて、同定した。図6（A）では、[OH] 伸縮モードによる赤外吸収が観測されなかった ( $0 \text{ cm}^{-1}$ ; 本明細書では、[OH] 伸縮モードによる赤外吸収の検出限界を、NSLT 単結晶は実質的にプロトンを有しないものとして取り扱う) NSLT 単結晶 (NSLT1;  $\Delta$ ) と、赤外吸収  $\alpha = 0.03 \text{ cm}^{-1}$  である NSLT 単結晶 (NSLT2;  $\circ$ ) と、赤外吸収  $\alpha = 0.11 \text{ cm}^{-1}$  である NSLT 単結晶 (NSLT3;  $\square$ ) と、参考のために赤外吸収  $\alpha = 0.26 \text{ cm}^{-1}$  である LN 単結晶 (SLN;  $\blacktriangle$ ) との測定結果のみを示す。

【0072】

図6（A）から、同じ組成を有する NSLT 単結晶の場合、単結晶中のプロトン濃度が小さいほど、データ保存寿命が長くなることが分かる。特に、NSLT1は、NSLT3の約30倍のデータ保存寿命を有している。

【0073】

図6（B）は、図6（A）の結果から求めた、NSLT 単結晶および SLN 単結晶の室温におけるデータ保存寿命のプロトン濃度依存性を示す。なお LN の場合、結晶中に含まれるプロトン濃度が保存寿命に影響を及ぼすことが知られている。本発明による上述の組成範囲を有する NSLT 単結晶の寿命は、SLN 単結晶の寿命の約15倍長いデータ保存寿命を有していることがわかった。例えば、 $\alpha = 0.01 \text{ cm}^{-1}$  (プロトン濃度:  $0.02 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) である NSLT 単結晶の室温におけるデータ保存寿命は、約160年であり、このようなデータ保存寿命は、Fe が添加された CLT 単結晶の室温における保存寿命 (90日) に比べてはるかに長い。以上より、本発明による上記組成を有する NSLT 単結晶からなる強誘電体材料は、データ保存寿命が従来の材料よりも長く、局所的な屈折率変化を記録する記録媒体、特に、2色ホログラムの記録媒体として有効であることが分かる。特に、[OH] 伸縮モードにおける赤外吸収係数が  $0 \text{ cm}^{-1} \sim 0.15 \text{ cm}^{-1}$

の範囲（但し、 $0\text{ cm}^{-1}$ および $0.15\text{ cm}^{-1}$ を含む）となるプロトン濃度を含有する NSLT 単結晶からなる強誘電体材料が、更に好ましいデータ保存寿命を有する。

#### 【0074】

以上説明してきたように、本発明による、2色ホログラムに使用するに適した NSLT 単結晶からなる強誘電体材料が示された。 $0.4966 \leq \text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) \leq 0.4995$  ( $670^\circ\text{C} \leq T_c \leq 690^\circ\text{C}$ ) の組成範囲を有する NSLT 単結晶からなる強誘電体材料は、該 NSLT 単結晶を育成後に還元処理を施すことなく適切なゲート源濃度およびトラップ寿命を有することから、2色ホログラムに必要な屈折率変化および記録感度を発現することができる。得られた記録感度は、従来に比べても高く、従来よりも低強度のゲート光を用いて、フォトリフラクティブ効果を発生させることができる。また、本発明による NSLT 単結晶からなる強誘電体材料は、不純物を添加していないので、ゲート光の波長領域に不要な吸収バンドは生じない。このため、従来よりも厚い強誘電体材料を用いることができるため、大容量を記録することができる。

#### 【0075】

なお、実施の形態1では、特に、2色ホログラム用途に言及して説明してきたが、本発明による強誘電体材料はこれに限定されない。本発明による強誘電体材料は、波長が異なる2つの光（ゲート光および記録光）を照射することによって発現した屈折率変化を利用し得る任意のアプリケーションに適用可能であることを理解されたい。

#### 【0076】

##### （実施の形態2）

図7は、本発明による2色ホログラフィック記録媒体に情報を記録する、および／または、2色ホログラフィック記録媒体から情報を再生する記録再生装置700の模式図を示す。

#### 【0077】

実施の形態1で説明した、本発明による  $0.4966 \leq \text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) \leq 0.4995$  ( $670^\circ\text{C} \leq T_c \leq 690^\circ\text{C}$ ) の組成範囲を有する NSLT 単結晶からなる強誘電体材料を所定の形状および大きさに加工し、2色ホログラフィック記録媒体を作製した。例えば、2色ホログラフィック記録媒体のサイズおよび形状は、1cmの立方体であり得るが、このサイズおよび形状に限定されない。

#### 【0078】

記録再生装置700は、ゲート光を発する第1の光源701と、記録光を発する第2の光源702と、記録光を参照光と信号光とに分離するビームスプリッタ703と、記録されるべきデジタルデータを単位ページ系列データに変換するエンコーダ704と、単位ページ系列データに応じて信号光を光変調する空間光変調器705と、光変調された信号光をフーリエ変換する4f系フーリエ変換レンズ706と、本発明による2色ホログラフィック記録媒体710で干渉された再生光を逆フーリエ変換する逆フーリエ変換レンズ707と、逆フーリエ変換された再生光を受光する光検出器708と、受光された再生光をデジタルデータに変換するデコーダ709とを含む。

#### 【0079】

第1の光源701は、例えば、YAGレーザの第3高調波発振（THG）またはGaN等の半導体レーザであり得るが、これに限定されない。第1の光源701が発するゲート光の波長は、例えば、350nmであり得る。第2の光源702は、例えば、単一縦モードAlGaAs系半導体レーザであり得るが、これに限定されない。第2の光源702は、ゲート光の波長よりも長い波長を有する記録光を発する。第2の光源702が発する記録光は、例えば、850nmの波長を有し、可干渉性の光である。

#### 【0080】

エンコーダ704は、デジタルデータを平面上に明暗を示すドットパターン画像に変換する。次いで、エンコーダ704は、変換されたドットパターン画像を、例えば、縦480ビット×横640ビットのデータ配列に並べ替え、単位ページ系列データを生成する。

**【0081】**

空間光変調器705は、例えば、透過型のTFT液晶表示装置(LCD)のパネルであり得るが、これに限定されない。空間光変調器705は、単位ページ系列データと信号光とを受け取る。空間光変調器705は、単位ページに対応する縦480ピクセル×横640ピクセルの変調処理単位を有し、信号光を単位ページ系列データに応じて空間的な光のオンオフ信号に光変調する。

**【0082】**

光検出器708は、例えば、電荷結合素子(CCD)であり得る。光検出器708は、再生光を電気信号の強弱に変換し、再生光の輝度に応じたレベルを有するアナログ電気信号を生成する。

**【0083】**

デコーダ709は、アナログ電気信号と所定の振幅値(スライスレベル)とを比較し、デジタルデータを生成する。

**【0084】**

記録再生装置700は、また、ゲート光を2色ホログラフィック記録媒体710に入射させるミラー711aと、記録光をビームスプリッタ703に入射させるミラー711bと、参照光および信号光のそれぞれを2色ホログラフィック記録媒体710に入射させるミラー711cおよび711dとをさらに含む。ミラー711a~711dは、光学系の設計により省略してもよい。

**【0085】**

次に、記録再生装置700を用いて本発明による2色ホログラフィック記録媒体710に情報を記録する動作を説明する。

**【0086】**

第1の光源701はゲート光を発する。同時に、第2の光源702は記録光を発する。ゲート光は、ミラー711aを介して2色ホログラフィック記録媒体710に照射される。これにより、2色ホログラフィック記録媒体710にフォトリフラクティブ効果に関与するキャリアが生成される。記録光は、ビームスプリッタ703で参照光と信号光(ただし、この時点では信号光は記録されるべき情報を有していないことに留意されたい)とに分離される。参照光は、ミラー711cを介して所定の角度で2色ホログラフィック記録媒体710に照射される。

**【0087】**

信号光は、空間光変調器705を介した後、2色ホログラフィック記録媒体710に記録すべき情報を有する。信号光は、ミラー711dおよび4f系フーリエ変換レンズ706を介して2色ホログラフィック記録媒体710に照射される。

**【0088】**

参照光およびフーリエ変換された信号光は、2色ホログラフィック記録媒体710で干渉する。2色ホログラフィック記録媒体710において参照光および信号光が交差する領域に干渉縞が生成し、この干渉縞の明暗部に沿って屈折率変化が発生する。この干渉縞が屈折率格子として記録される。このようにして、2色ホログラフィック記録媒体710に情報が記録される。参照光の入射角度を変更することにより、複数の単位ページ系列データが角度多重記録され、3次元データ記録が達成され得る。

**【0089】**

次に、記録再生装置700を用いて本発明による2色ホログラフィック記録媒体710に記録された情報を再生する動作を説明する。

**【0090】**

第2の光源702は記録光を発する。信号光が、2色ホログラフィック記録媒体710に入射しないように、ビームスプリッタ703と空間光変調器705との間にシャッター(図示せず)が設けられている。この際、第1の光源701はゲート光を発しないか、または、第1の光源701と2色ホログラフィック記録媒体710との間の光路にシャッター等を設け、2色ホログラフィック記録媒体710にゲート光が入射しないようにしても

よい。

#### 【0091】

参照光が照射された2色ホログラフィック記録媒体710の反対側には、記録された屈折率格子からフーリエ変換された信号光を再現した再生光が生じる。この再生光は、逆フーリエ変換レンズ707を介して光検出器708に入射する。その後、デコーダ709によってデジタルデータが再生される。このようにして、2色ホログラフィック記録媒体710に記録された情報が再生される。

#### 【0092】

本発明によれば、2色ホログラフィック記録媒体710は、NSTL単結晶からなる強誘電体材料から作製されている。該NSTL単結晶は、 $0.4966 \leq \text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) \leq 0.4995$  ( $670^\circ\text{C} \leq T_c \leq 690^\circ\text{C}$ ) の組成範囲を有する。該NSTL単結晶は、育成後に還元処理を施すことなく適切なゲート源濃度およびトラップ寿命を有することから、2色ホログラムに必要な屈折率変化および記録感度を発現することができる。また、本発明による2色ホログラフィック記録媒体710は、不純物を添加していないので、ゲート光の波長領域に不要な吸収バンドは生じない。このため、2色ホログラフィック記録媒体を従来よりも厚くすることができ、大容量を達成し得る。

#### 【0093】

(実施の形態3)

実施の形態1で説明した本発明による強誘電体材料は、波長選択フィルタに用いることができる。

#### 【0094】

図8は、波長選択フィルタの作製方法および原理を説明する模式図である。図8(A)を参照し、波長選択フィルタの作製工程を説明する。実施の形態1の図2の測定系200または実施の形態2の記録再生装置700を用い、本発明による強誘電体材料800に、ゲート光(波長:  $\lambda_g$ )と、コヒーレントな信号光(波長:  $\lambda_{\text{rec1}}$  (空气中))および参照光(波長:  $\lambda_{\text{rec1}}$  (空气中))とを照射する。強誘電体材料800の信号光および参照光の交差部分に干渉縞が形成される。この干渉縞の明暗部に沿って電気光学効果による屈折率変化が発生し、屈折率格子が形成され、記録される。このような屈折率格子が記録された強誘電体材料800は、波長選択フィルタとして機能する。

#### 【0095】

次に、波長選択フィルタの原理を説明する。信号光および参照光を強誘電体材料800に照射する際のブラッグ角 $\theta$  (空气中)と、屈折率格子の格子間ピッチ $\Lambda_1$ との関係は次式(4)を満たす。

【数4】

$$\Lambda_1 = \lambda_{\text{rec1}} / (2 \sin \theta) \quad (4)$$

このような格子間ピッチを有する屈折率格子が形成され、かつ、屈折率 $n$ を有する波長選択フィルタ800に、例えば、波長 $\lambda_1$ の入射光を導入する。格子間ピッチ $\Lambda_1$ が、

【数5】

$$\Lambda_1 = \lambda_1 / (2 \cdot n) \quad (5)$$

上式(5)を満たす場合、図8(B)に示されるように、入射光 $\lambda_1$ は、波長選択フィルタ800にて反射される。

#### 【0096】

一例として、信号光および参照光の波長が647nm (空气中)であり、ブラッグ角 $\theta$ が56.6° (空气中)である場合、波長選択フィルタ800は、1550nmの入射光を反射することができる。

#### 【0097】



図8を参照して説明した波長選択フィルタ800は、例えば、波長分割多重（以降ではWDMと称する）方式の通信に使用されるWDM用波長選択フィルタであり得る。図9は、WDM用波長選択フィルタ900の模式図を示す。WDM用波長選択フィルタ900は、格子間ピッチ $\Lambda_1 = \lambda_1 / (2 \cdot n)$ を満たす屈折率格子を有する。WDM用波長選択フィルタ900に波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ および $\lambda_3$ の光を含む入射光を入射すると、WDM用波長選択フィルタ900は、波長 $\lambda_1$ の光のみを反射し、波長 $\lambda_2$ および $\lambda_3$ の光を透過し得る。従来、このような波長 $\lambda_1$ の光は、ビームスプリッタ等の光学素子によって分離されていた。

#### 【0098】

本発明による波長選択フィルタは、実施の形態1で説明したように、 $0.4966 \leq Li_2O / (Li_2O + Ta_2O_5) \leq 0.4995$  ( $670^\circ C \leq T_c \leq 690^\circ C$ )の組成範囲を有するNSLT単結晶からなる強誘電体材料から作製され得る。NSLT単結晶は、不純物を含まないため、光透過性が高い。したがって、NSLT単結晶を厚くすることによって、フィルタの選択性を高めることができる。また、NSLT単結晶は高い不揮発性および長いデータ保存寿命を有することから、フィルタ特性を長時間維持することができる。

#### 【0099】

本発明による波長選択フィルタは、屈折率格子を容易に書き換えることができる。上式(4)におけるブラッグ角 $\theta$ を変化させて屈折率格子を波長選択フィルタに記録することにより、異なる格子間ピッチを有する波長選択フィルタが作製される。これにより、反射光（すなわち、波長選択フィルタで反射された光）の波長を容易に選択できる。

#### 【0100】

図10は、本発明によるフィルタシステム1000を示す模式図である。

#### 【0101】

本発明によるフィルタシステム1000は、光源部1001と、波長選択フィルタ1002と、光源部1001を移動させる移動部1003とを含む。

#### 【0102】

光源部1001は、波長が異なる複数の光を伝播しかつ端部から該複数の光を発する光ファイバ1004と、光ファイバ1004からの光を平行光にし、波長選択フィルタ1002に入射させるコリメートレンズ1005とを含む。

#### 【0103】

波長選択フィルタ1002は、実施の形態1で説明した本発明による強誘電体材料から作製され得る。波長選択フィルタ1002は、複数の屈折率格子1006を有しており、それら複数の屈折率格子1006の格子間ピッチは各々異なってもよい。このように1つの強誘電体材料に複数の屈折率格子1006を作製するためには、NSLT単結晶に照射されるゲート光の照射領域を、マスク等を用いて限定すればよい。図10では、複数の屈折率格子1006は、並列に配置されているが、これに限定されない。

#### 【0104】

移動部1003は、光源部1001に接続されている。移動部1003は、光源部1001からの光が選択されるべき波長に対応する屈折率格子に入射するように、光源部1001を移動させる。移動部1003は、波長選択フィルタ1002に接続されていてもよい。この場合、移動部1003は、光源部1001からの光が選択されるべき波長に対応する屈折率格子に入射するように、波長選択フィルタ1002を移動させる。

#### 【0105】

このようなフィルタシステム1000を用いれば、複数の波長成分を有する光から、所定の波長成分を有する光を容易に取り出すことができる。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0106】

本発明によれば、波長が異なる2つの光を照射することによって屈折率変化を発現する強誘電体材料が提供される。このような強誘電体材料は、 $Li_2O / (Li_2O + Ta_2O_5)$

) = 0.4966 ~ 0.4995 の組成を有するタンタル酸リチウム単結晶である。

【0107】

本発明による強誘電体材料は、NSLT単結晶を育成後に還元処理を施すことなく適切なゲート源濃度およびトラップ寿命を有することから、2色ホログラムに必要な屈折率変化および記録感度を発現することができる。得られた記録感度は、従来に比べても高く、従来よりも低強度のゲート光を用いて、フォトリフラクティブ効果を発生させることができる。

【0108】

また、本発明による強誘電体材料は、不純物を添加していないので、ゲート光の波長領域に不要な吸収バンドは生じない。本発明による強誘電体材料を2色ホログラフィック記録媒体に用いれば、従来よりも厚い強誘電体材料を用いることができるため、大容量を記録することができる。

【0109】

また、本発明による強誘電体材料は、高記録感度および長データ保存寿命を有する。本発明による強誘電体材料を波長選択フィルタに用いれば、フィルタ特性を長時間維持することができる（すなわち安定動作が保証され得る）。また、本発明による強誘電体材料は不純物を含有しないので、厚い波長選択フィルタを作製することができる。その結果、フィルタの選択性が向上し得る。

【図面の簡単な説明】

【0110】

【図1】  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Ta}_2\text{O}_5$  擬2成分系相図

【図2】 光学特性の測定系の模式図

【図3】 本発明によるNSLT単結晶からなる強誘電体材料の屈折率変化（A）および感度（B）のキュリー温度依存性を示す図

【図4】 LT単結晶のキュリー温度と組成との関係を示す図

【図5】 本発明によるNSLT単結晶からなる強誘電体材料の記録-再生-消去ステップにおける屈折率変化を示す図

【図6】 減衰時定数の温度依存性（A）および室温における保存寿命のプロトン濃度依存性（B）を示す図

【図7】 本発明による2色ホログラフィック記録媒体に情報を記録する、および／または、2色ホログラフィック記録媒体から情報を再生する記録再生装置の模式図

【図8】 波長選択フィルタの作製方法および原理を説明する模式図

【図9】 WDM用波長選択フィルタの模式図

【図10】 本発明によるフィルタシステムを示す模式図

【図11】 2色ホログラム方式の原理を説明する模式図

【符号の説明】

【0111】

200 測定系

201、701 第1の光源

202、702 第2の光源

203、703 ビームスプリッタ

204、708 光検出器

205、206a~b、711a~d ミラー

207 被測定結晶

700 記録再生装置

704 エンコーダ

705 空間光変調器

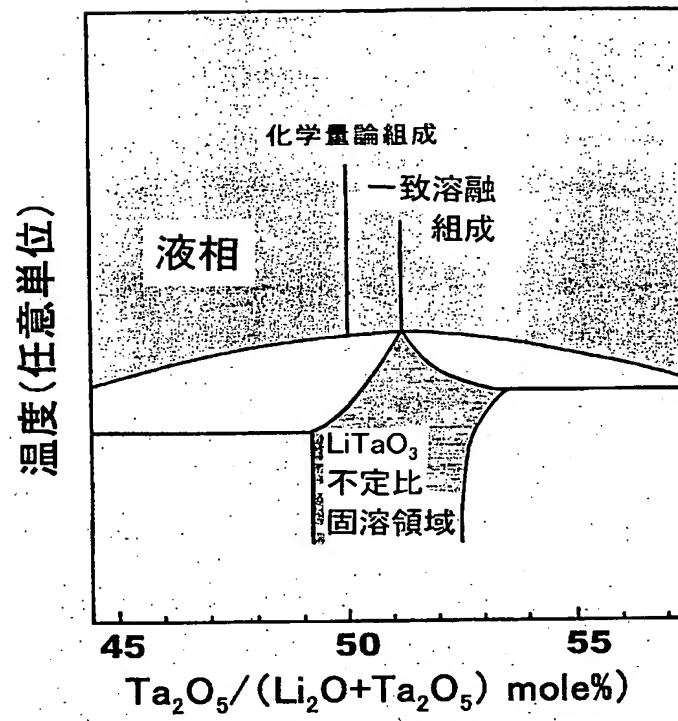
706 4f系フーリエ変換レンズ

707 逆フーリエ変換レンズ

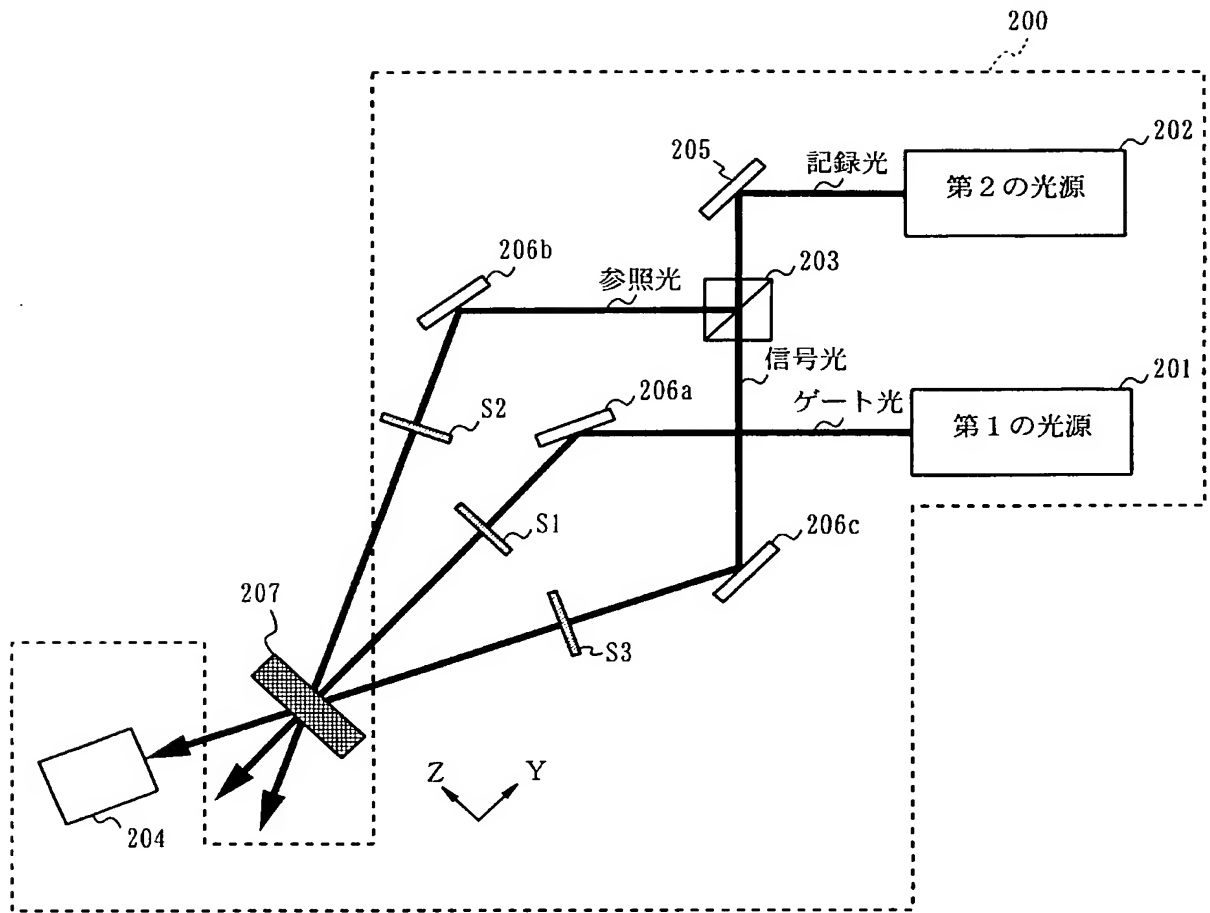
709 デコーダ

7 1 0 2 色ホログラフィック記録媒体  
8 0 0、1 0 0 2 波長選択フィルタ  
9 0 0 WDM用波長選択フィルタ  
1 0 0 0 フィルタシステム  
1 0 0 1 光源部  
1 0 0 3 移動部  
1 0 0 4 光ファイバ  
1 0 0 5 コリメートレンズ  
1 0 0 6 屈折率格子

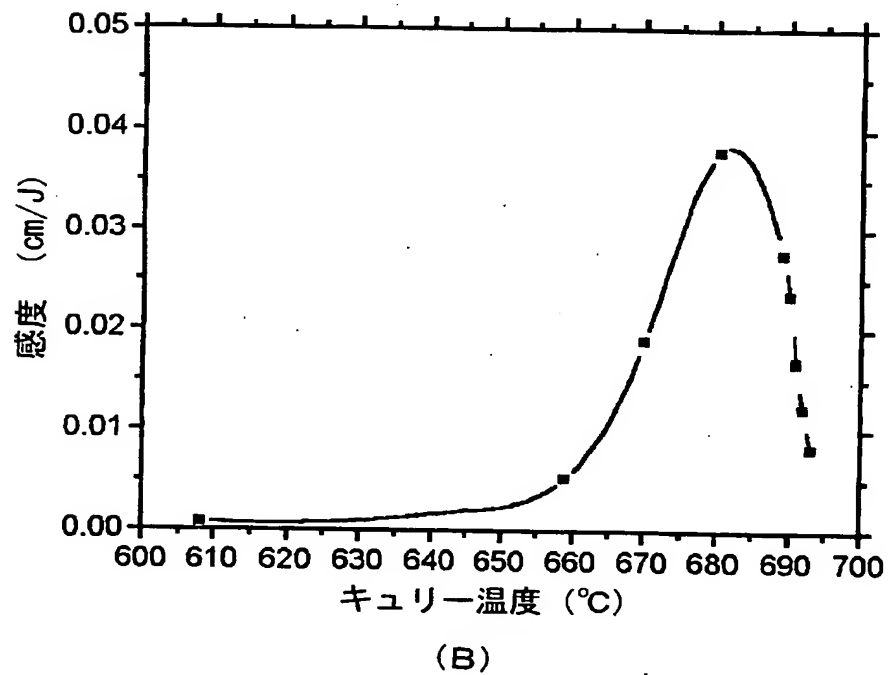
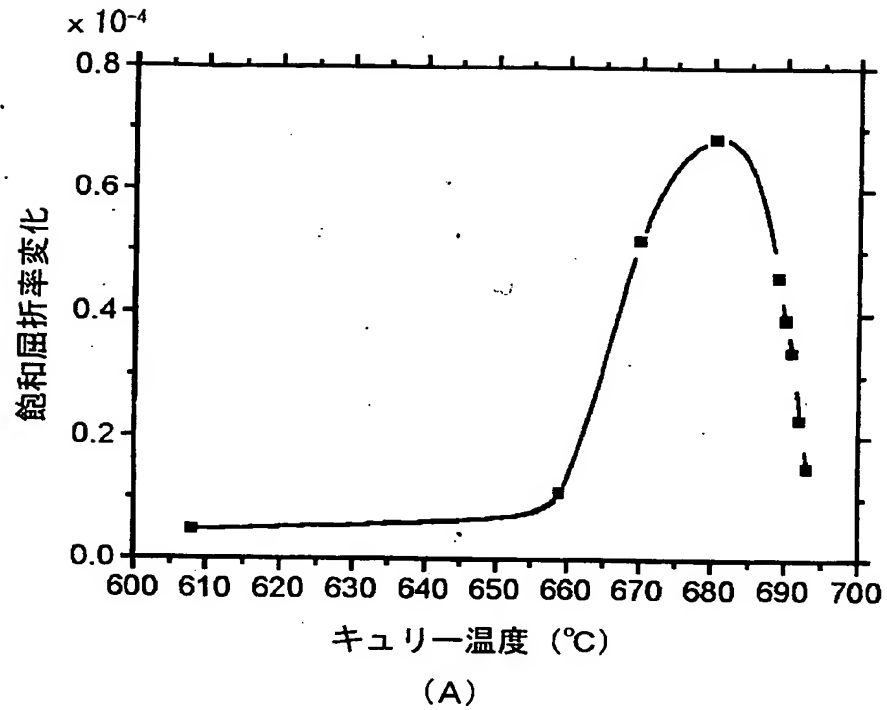
【書類名】 図面  
【図 1】



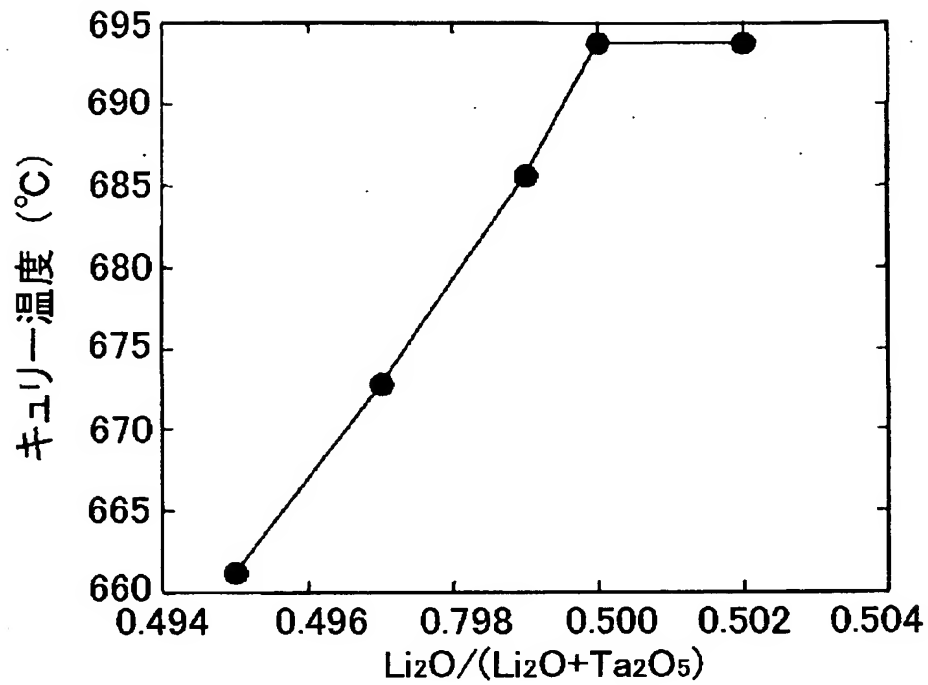
【図 2】



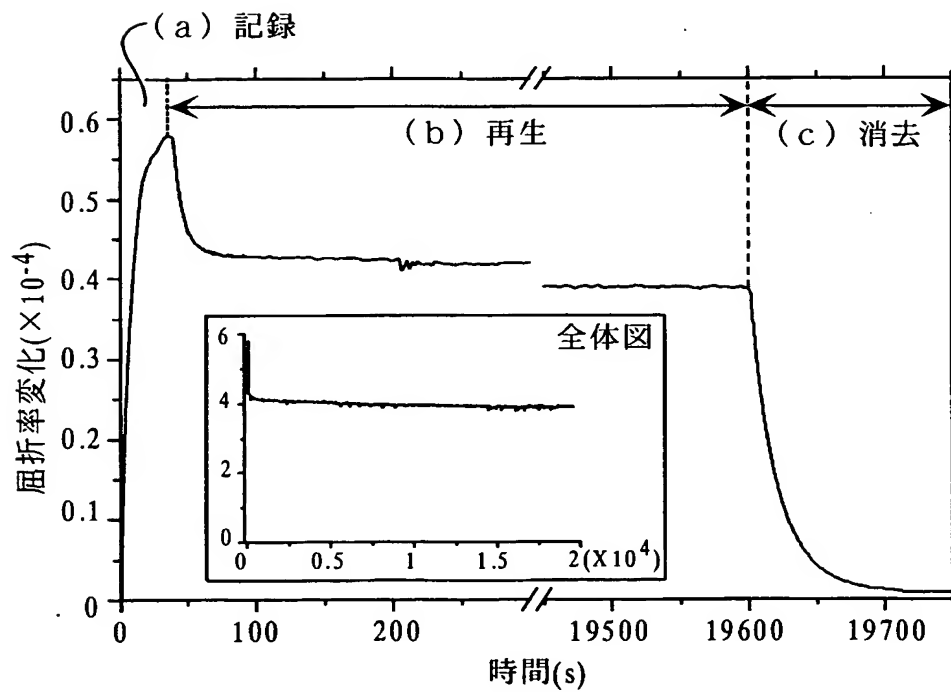
【図3】



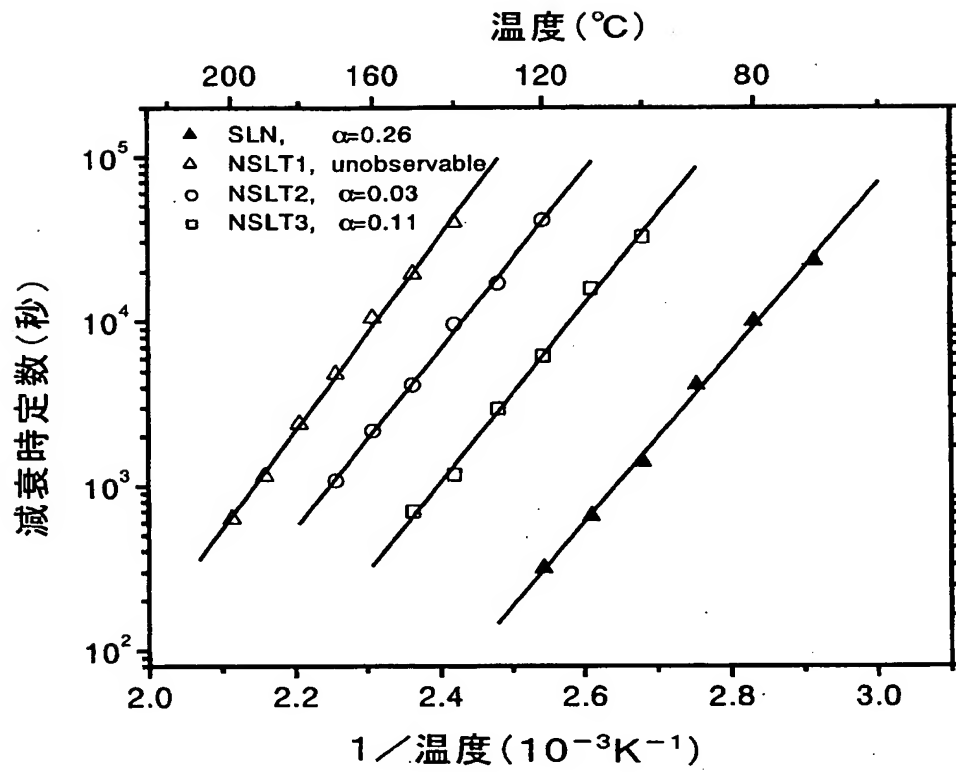
【図 4】



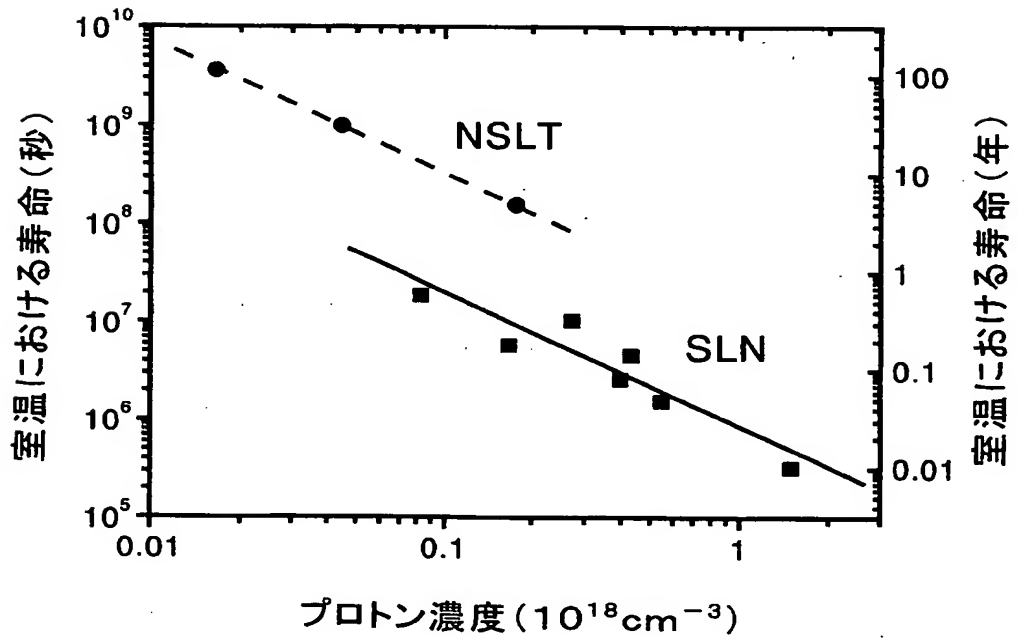
【図 5】



【図 6】



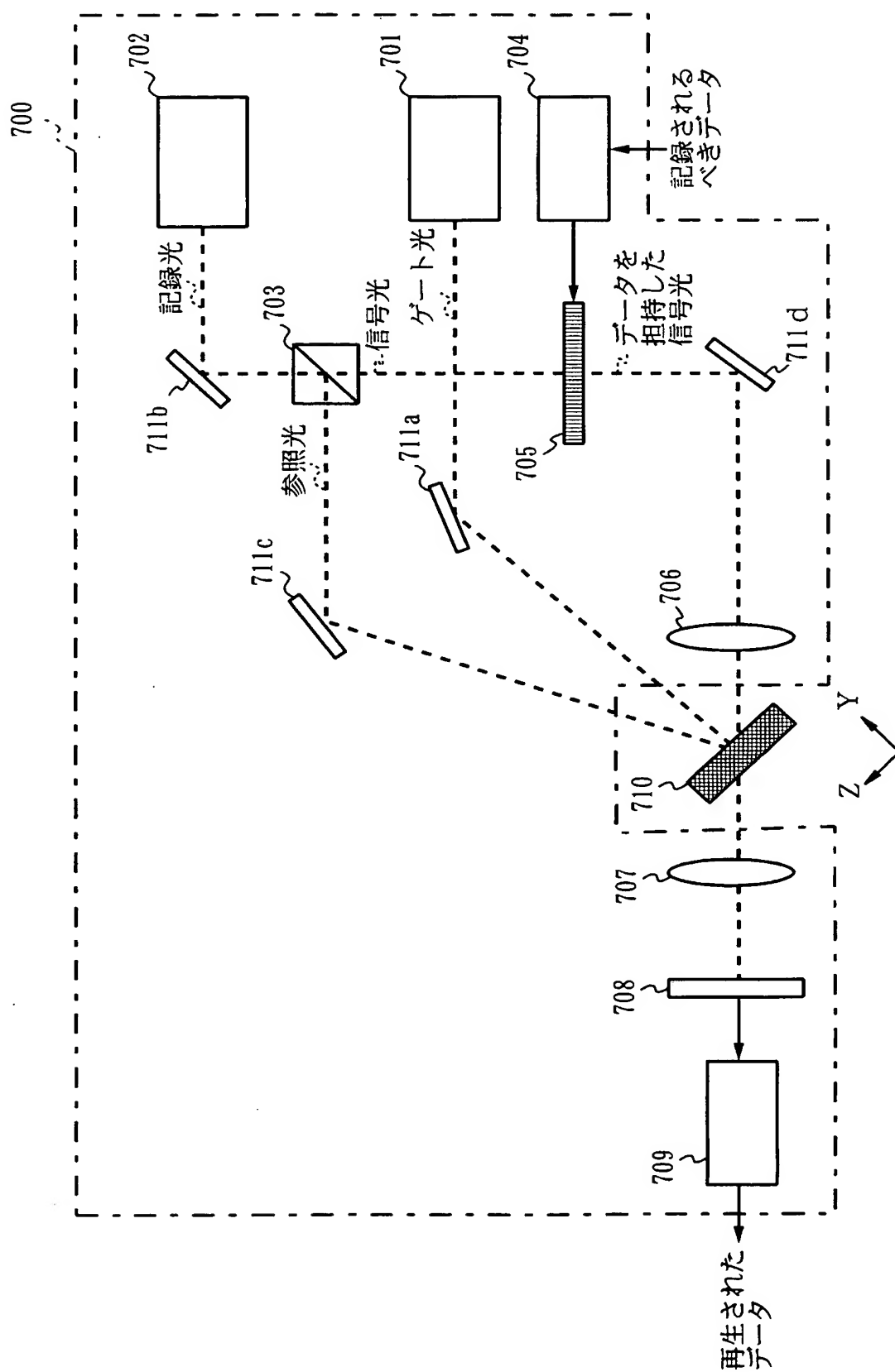
(A)



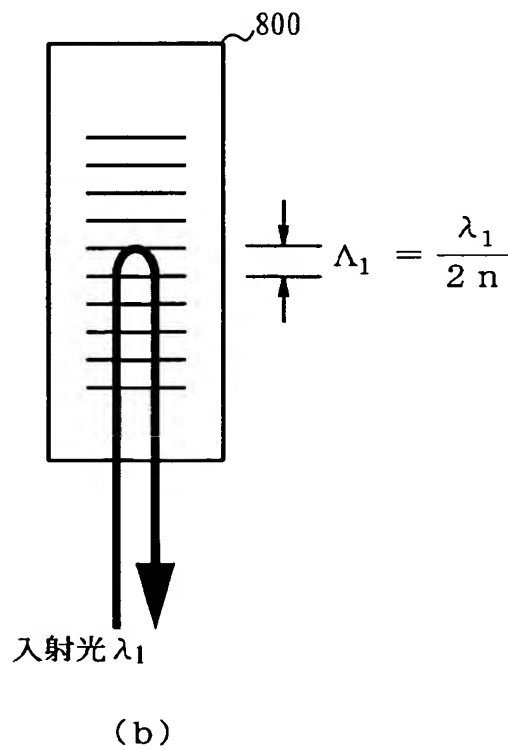
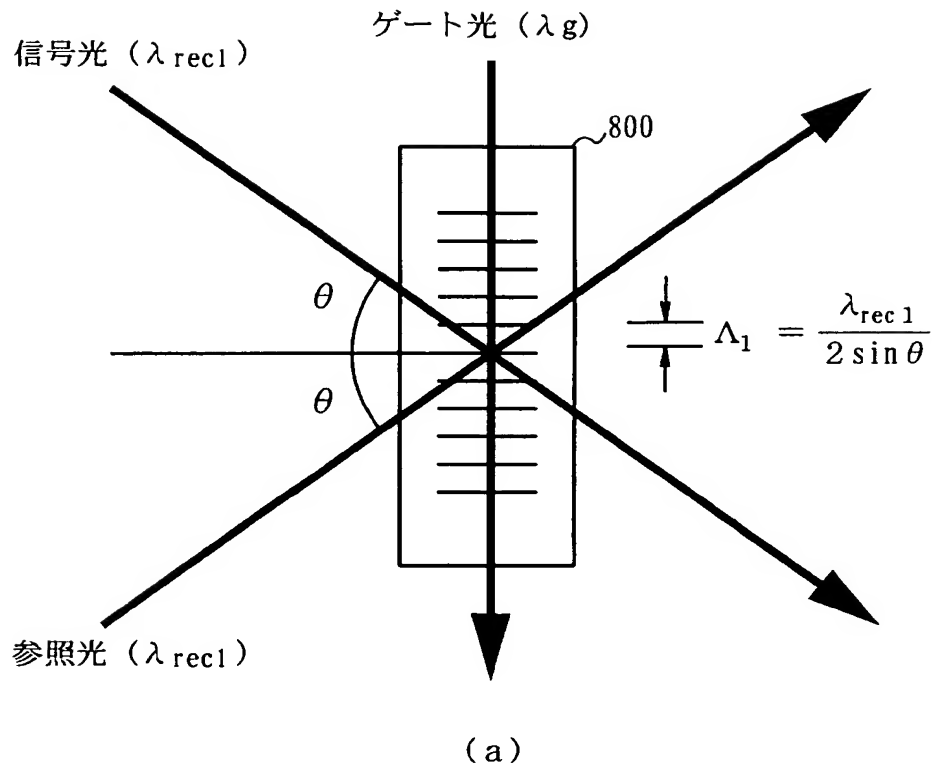
(B)



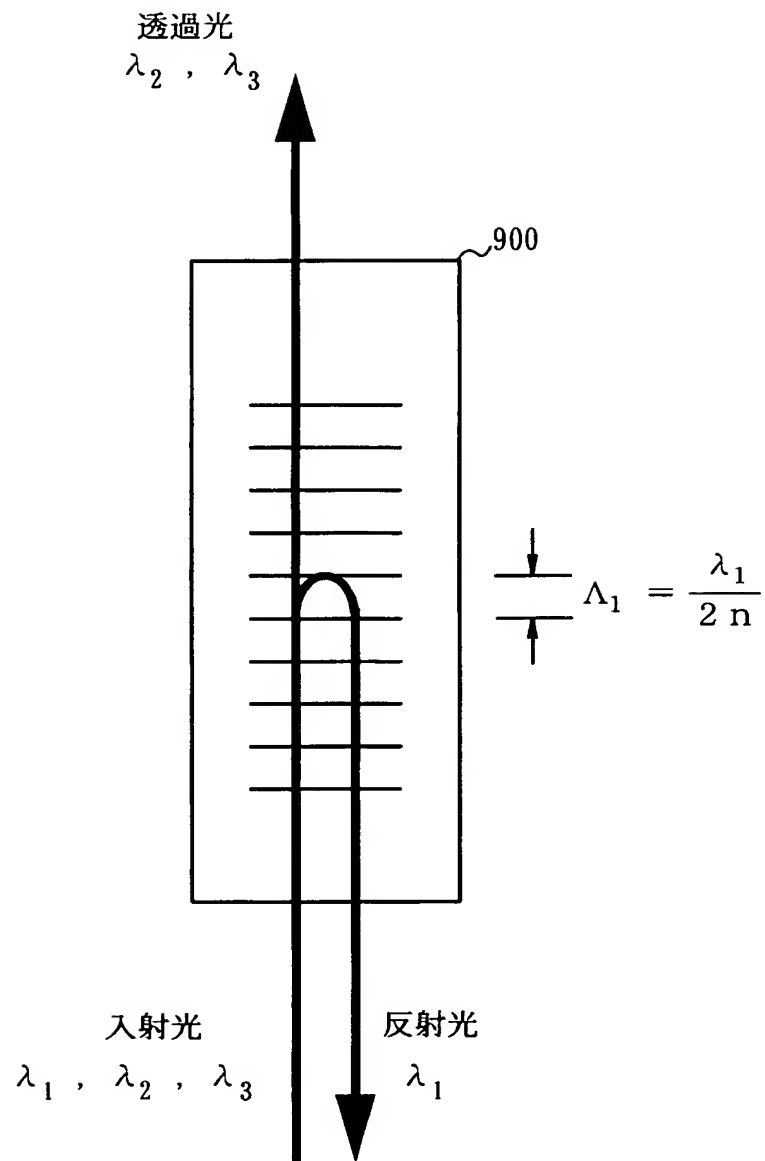
【圖 7】



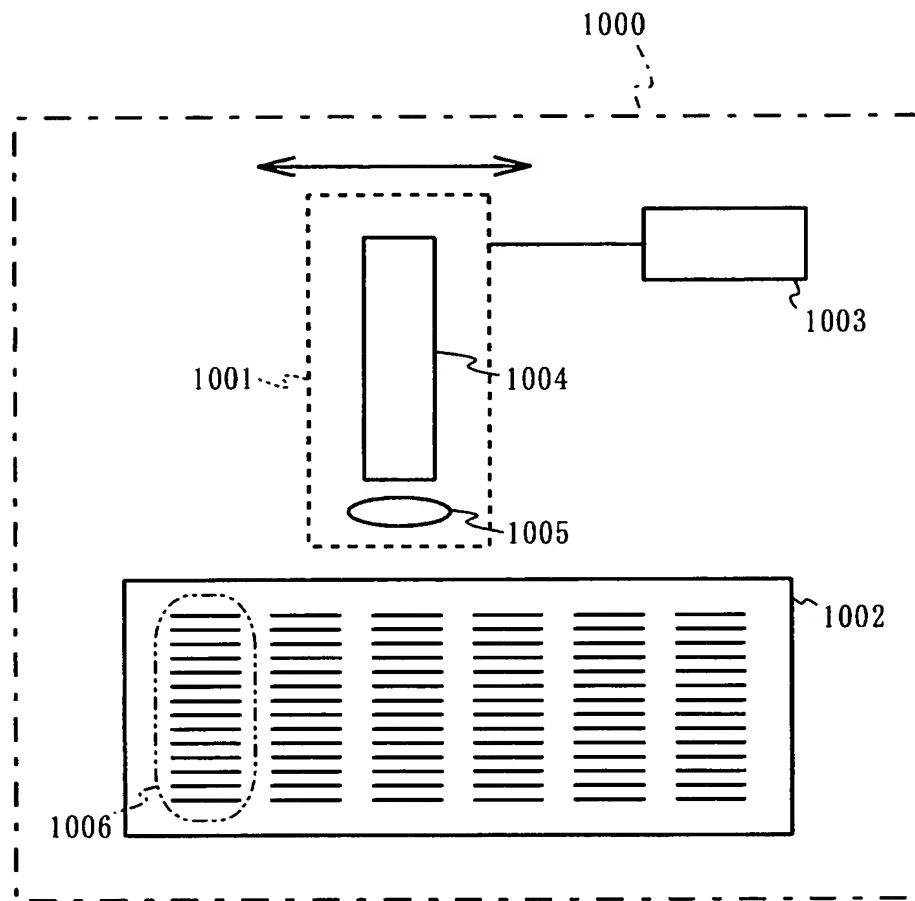
【図 8】



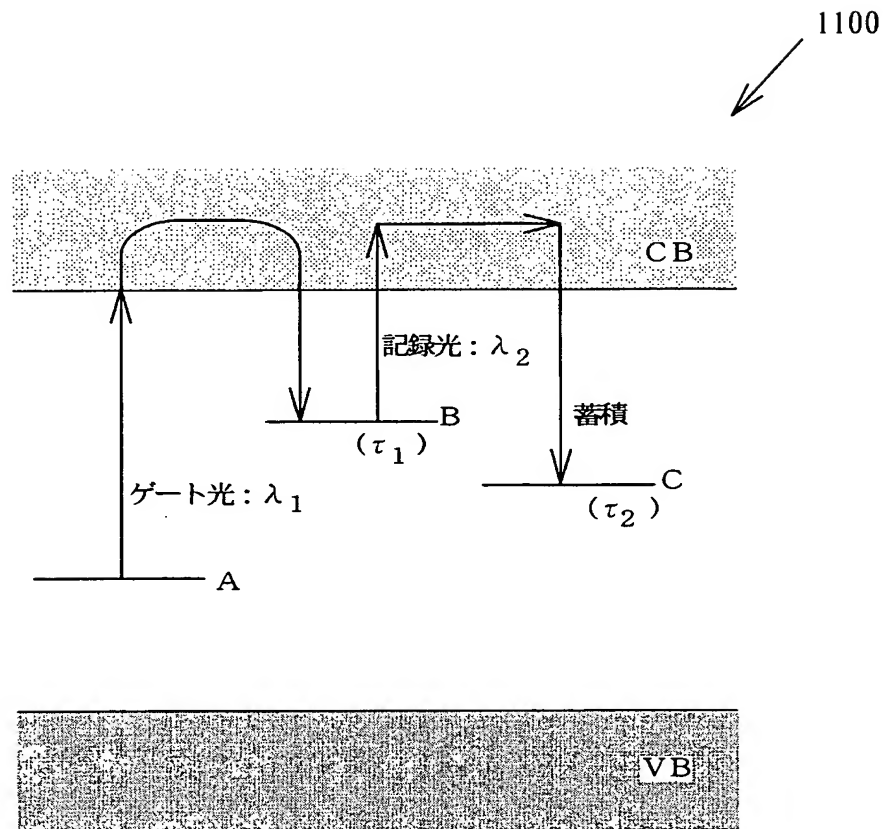
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 還元処理を施すことなく、かつ、不純物を添加することなく、波長が異なる 2 つの光を照射することによって屈折率変化を発現する強誘電体材料を提供すること。

【解決手段】 波長が異なる 2 つの光を照射することによって屈折率変化を発現する本発明の強誘電体材料は、 $\text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) = 0.4966 \sim 0.4995$  の組成を有するタンタル酸リチウム単結晶である。好ましくは、強誘電体材料は、 $\text{Li}_2\text{O} / (\text{Li}_2\text{O} + \text{Ta}_2\text{O}_5) = 0.4974 \sim 0.4989$  の組成を有するタンタル酸リチウム単結晶である。好ましくは、[OH] 伸縮モードにおける赤外吸収係数が  $0 \text{ cm}^{-1} \sim 0.15 \text{ cm}^{-1}$  の範囲（但し、 $0 \text{ cm}^{-1}$  および  $0.15 \text{ cm}^{-1}$  を含む）である。

【選択図】 図 3

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2004-040215
受付番号	50400254781
書類名	特許願
担当官	鎌田 柁規 8045
作成日	平成16年 2月26日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

## 【特許出願人】

【識別番号】	000005016
【住所又は居所】	東京都目黒区目黒1丁目4番1号
【氏名又は名称】	パイオニア株式会社

## 【特許出願人】

【識別番号】	301023238
【住所又は居所】	茨城県つくば市千現一丁目2番1号
【氏名又は名称】	独立行政法人物質・材料研究機構

## 【特許出願人】

【識別番号】	503098724
【住所又は居所】	山梨県北巨摩郡小淵沢町9633
【氏名又は名称】	株式会社オキサイド

## 【代理人】

【識別番号】	100079119
【住所又は居所】	東京都中央区築地4丁目1番17号 銀座大野ビル 藤村国際特許事務所
【氏名又は名称】	藤村 元彦

特願 2 0 0 4 - 0 4 0 2 1 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 5 0 1 6 ]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 3 1 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都目黒区目黒 1 丁目 4 番 1 号
氏 名	パイオニア株式会社



特願 2 0 0 4 - 0 4 0 2 1 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 3 0 1 0 2 3 2 3 8 ]

1. 変更年月日	2 0 0 1 年 4 月 2 日
[変更理由]	新規登録
住 所	茨城県つくば市千現一丁目 2 番 1 号
氏 名	独立行政法人物質・材料研究機構

特願 2 0 0 4 - 0 4 0 2 1 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 5 0 3 0 9 8 7 2 4 ]

1. 変更年月日	2 0 0 3 年 3 月 1 4 日
[変更理由]	新規登録
住 所	山梨県北巨摩郡小淵沢町 9 6 3 3
氏 名	株式会社オキサイド